植物提取物对家禽肠道健康调控及其作用机制

郭爱伟[1] 熊春梅[1] 周杰珑[1] 李青青[1] 陈玉芹[2] 杨亚晋[1] 郑 琛[3*]

(1.西南林业大学生命科学学院，昆明 650224；2.云南省德宏热带农业科学研究所，德宏 679600；

3.甘肃农业大学动物科学技术学院，兰州 730070)

摘 要：植物提取物中的活性物质有黄酮类、植物精油、生物碱、茶多酚、皂苷和多糖等，这些活性物质在动物机体内具有抗菌、抗氧化、增强肠道免疫、促进消化酶分泌及改善肠道健康等多种生理功能，且具有无残留和无耐药性等特点，是抗生素的理想替代品之一。本文借鉴国内外学者近年来的植物提取物在家禽肠道健康调控方面的研究成果，对植物提取物的抑菌活性成分及抗菌机制进行了概括和阐述，重点综述了植物提取物对家禽肠道消化生理、肠道发育及黏膜形态、肠道菌群、肠道免疫和肠道有害代谢产物的影响及其作用机制，以期为今后在家禽生产中合理使用植物提取物提供科学依据。

关键词：植物提取物；家禽；肠道健康；作用机制

中图分类号：S816 文献标识码：A 文章编号：

在畜禽饲料中长期添加抗生素给人类自身健康和环境安全带来了严重的负面影响，滥用抗生素会破坏畜禽肠道内的微生态平衡，并引发细菌的耐药性，此外，畜产品中抗生素残留也会威胁人体健康[1]。因此，很多国家已经开始禁止在畜禽饲料中添加抗菌素，没有禁用的国家也立法严格限制使用，并规定停药期和休药期[2]。因此，在家禽配合饲料中添加低剂量的抗生素作为肠道微生态调节剂已不再受欢迎，探寻新的抗生素替代品来调节家禽肠道微生物区系和维持肠道健康是后抗生素时代的紧迫任务。植物提取物（plant extracts，PE）就是在这种背景下成为家禽营养学研究的一个热点，其主要原因在于植物提取物中的活性物质可以通过抗菌以及对细菌选择性抑制来维持消化道菌群的微生态平衡，植物提取物还可以通过改善家禽肠道免疫、促进肠道黏膜的发育和消化酶的分泌等方面来保证家禽肠道健康[3]。在当前人们对畜产品安全高度关注和实现畜牧业可持续发展的背景下，植物提取物以其安全、高效、无残留、不产生抗药性等优势[4-6]，成为一种新型

收稿日期：2017-01-17

基金项目：国家自然科学基金（31460609）；云南省优势特色重点学科生物学一级学科建设项目（50097505）

作者简介：郭爱伟（1975—），男，甘肃临夏人，副教授，硕士，主要从事家禽营养与肠道健康方面的研究。E-mail： g.aiwei.swfu@hotmail.com

*通信作者：郑 琛，副教授，硕士生导师，E-mail： zhengc@gsau.edu.cn

抗生素替代品。本文就植物提取物的抗菌机制，对家禽肠道消化生理、肠道发育及黏膜形态、肠道菌群、肠道免疫、肠道有害代谢产物等方面的影响及其作用机制进行了综述，为今后家禽肠道健康调控及家禽生产提供依据。

1 植物提取物概述

植物提取物是指来源于植物，具有一种或多种生物学功能的物质，添加在饲料中能够提高畜禽生产性能、改善畜产品品质、增强免疫力、预防某些畜禽疾病、保证肠道健康等多种作用[7-9]。植物提取物中含有丰富而复杂的有机成分，包含多达60多种化学成分[5]，现已证明具有生物活性的物质有黄酮类、植物精油、生物碱、茶多酚、皂苷和多糖等。黄酮类化合物是一类存在于植物中的具有2-苯基色原酮结构的化合物，它们分子中含有1个酮式羰基，第1位上的氧原子具有碱性，能与强酸成盐，其羟基衍生物呈黄色，故又称黄碱素或黄酮，目前已证实黄酮类化合物具有抗氧化、抑菌等功效，黄酮类化合物的抑菌生物学活性一直是科学家研究的热点；生物碱是天然植物中一类重要的含氮有机化合物，呈碱性，可与酸结合成盐，已经证明天然植物中的生物碱具有抑菌的生物学活性；植物精油（essential oils，EOs）是广泛存在于天然植物中，植物精油具有抗菌、抗氧化、降血脂等优点，已经引起广泛的关注，国内外对不同植物精油的抗菌活性做了大量的研究，EOs的抗菌机制也正处于积极的探索当中[10-11]。

2 植物提取物的抗菌机制

2.1 增强肠上皮防御功能

现已证实，一些植物提取物在体外并不直接抑杀病原菌，但经过畜禽摄入后能抵抗病原微生物引起的腹泻，期可能主要是通过提高肠道上皮自身防御功能来实现的。例如，大蒜素不能直接抑杀大肠杆菌，但可以增强肠上皮细胞对 K88 大肠杆菌侵染的抵抗力，并降低大肠杆菌引起的肠上皮细胞通透性增加[12]。

2.2 增强细菌细胞膜通透性

植物提取物的一个重要的特点是疏水性（hydrophobicity），这使得植物提取物可以让细菌细胞膜和线粒体上的磷脂结构分开，破坏细胞结构，增强细胞膜通透性[13-14]，从而导致细胞内离子和其他物质的泄露[15-17]。如果胞内大量细胞内容物或者重要离子或分子泄露，可能会导致细菌细胞死亡[18]。Lambert 等[19]已证实，牛至（*Origanum vulgare* L.）中香芹酚使金黄色葡萄球菌（*Staphylococcus aureus*）和绿脓杆菌（*Pseudomonas*

aeruginosa）细胞中的磷酸分子泄漏，牛至中香芹酚的抑制或杀灭微生物的特性与其亲脂性质和芳香族的化学结构有关[20]。

2.3　抑制细菌肽聚糖的合成

一些体外研究表明，植物提取物可以抑制细菌肽聚糖的合成而使细菌形态受损，千金藤属（*Stephania suberosa*）植物提取物的抗菌机制主要是抑制了细菌肽聚糖的合成，使细菌形态受损[21]。

由于植物提取物成分复杂，其具体的抗菌机制目前仍未明了。除了以上的 3 种外，植物提取物还可以破坏或降解细菌的细胞壁、破坏细胞质膜，并破坏细胞膜蛋白质结构，还可以使细菌细胞质凝聚，使细菌质子运动力（proton motive force，PMF）减弱[22-25]。以上所述植物提取物的几种抗菌机制并非孤立的，它们之间可以相互影响，一种机制的反应可能受到另一种机制中的反应物或生成物的影响。此外，已证实使用完整的植物提取物其抗菌功效要比主要成分大的多，说明了植物提取物中的非主要活性成分也起重要的作用，主要活性成分与非主要成分有叠加效应，今后应加强此方面的研究。

3　植物提取物对家禽肠道健康的影响及其作用机制

3.1　对肠道消化生理的影响

研究表明，植物提取物会刺激家禽肠道消化酶的分泌，增强消化酶的活性，从而可以改善家禽肠道的消化机能[26-28]。辣椒素和胡椒碱等主要通过刺激消化酶的活性而促进消化[29]，其主要原因是一些香料提取物中的活性物质会刺激胆盐的分泌[30]。William等[31]研究表明，植物精油能增加肉鸡肠道淀粉酶等内源酶的分泌，提高肠道中消化酶的活性，并能改变饲料在肠道中的形态，降低肠道食糜黏度，从而提高饲料中营养物质的消化率，增加营养物质的吸收，提高家禽的生产性能。山楂提取物能提高肉鸡十二指肠蛋白酶活性、胰腺的蛋白酶和脂肪酶活性，使营养物质的消化率提高[32]。在肉鸡饲粮中添加200 mg/kg丝兰提取物（YSE）后，显著提高了42日龄肉仔鸡回肠食糜胰蛋白酶及脂肪酶活性和十二指肠食糜脂肪酶活性，也显著提高了肉仔鸡对粗蛋白质的表观代谢率[33]。此外，黑孜然（*Nigella sativa* L.）种子提取物能够显著提高鸡肌胃pH，但对腺胃、十二指肠、回肠和空肠pH的影响不显著。在肉鸡饲粮中添加蒿（*Artemisia sieberi*）和黑孜然（*Nigella sativa* L.）种子提取物的混合物后能显著增加空肠pH，对肌胃、十二指肠、回肠pH的影响不显著[34]。综上所述，植物提取物可能通过刺激胃肠道分泌黏液（包括一部分消化酶），破坏病原菌在肠道的黏附，进而减少病原菌对

肠道的损害，提高肠道营养物质的消化与吸收，维持肠道健康。但也有报道植物提取物对家禽消化道消化酶的分泌影响不显著的，如Lee等[35]报道，在饲粮中添加100 mg/kg的百里香酚（thymol）和肉桂醛（cinnamaldehyde）后发现，添加百里香酚和肉桂醛对鸡胰腺和小肠分泌的淀粉酶、脂肪酶、胰蛋白酶、凝乳蛋白酶等酶的活性的影响不显著，这可能与植物提取物的种类和添加水平有关，今后应继续加强此方面的研究。

3.2 对肠道发育及黏膜形态的影响

肠道黏膜作为营养物质吸收的主要部位及机体的第 1 道免疫屏障，黏膜形态结构及功能的完整性对维持家禽肠道健康和生产具有重要的意义。用 0.1%、0.2%和 0.3%的主要成分为半乳葡甘露寡糖（galactoglucomannan oligosaccharides）的松木（*Pinus brutia*）提取物饲喂肉鸡，结果表明，0.2%半乳葡甘露寡糖能够提高小肠绒毛高度和绒毛表面积，降低鼠伤寒沙门氏菌（*S. typhimurium*）感染的风险[36]。植物提取物会影响病原菌在肠道的黏附，维护家禽肠道微生态平衡，还可以改善空肠和结肠黏膜形态，增加绒毛高度和隐窝深度[37]。Khalaji 等[34]研究表明，饲粮中添加山茶（*Camellia* L.）提取物可显著提高肉鸡绒毛高度和隐窝深度。王勉超[38]在肉鸡饲粮中添加 125 mg/kg 的丝兰属（*Yucca*）提取物，结果表明，试验组十二指肠及空肠绒毛长度均显著高于对照组，与抗生素组差异不显著，丝兰属提取物使小肠黏膜结构完整，绒毛排列整齐，黏膜上皮更新明显。生物碱能促进某些有益菌的增殖，抑制有害菌的生长，促进鸡小肠绒毛结构的发育，改善小肠的吸收功能，从而提高鸡的生产性能[39]。在饲粮中添加植物提取物后，在一定程度上提高了肉鸡回肠和盲肠的绒毛高度以及绒毛高度/隐窝深度，改善了肠道黏膜的消化吸收功能，促进了肉鸡的生长发育[40]，这与苏俊玲等[33]报道的结果相一致。饲粮中添加植物提取物可以提高肉鸡小肠各段绒毛高度及回肠、空肠的隐窝深度[41]。在北京鸭饲粮中添加丝兰提取物，使十二指肠、空肠、回肠的绒毛高度增高，绒毛深度增加，绒毛高度/隐窝深度增大，绒毛面积增大，提高了小肠对养分的吸收[42]。此外，植物提取物还具有修复损伤的肠道黏膜以及调控黏膜细胞因子表达的功能，肠道黏膜损伤后，肠道的修复受多种活性生长因子的调节，主要有表皮生长因子（EGF）、转化生长因子 α（TGFα）、转化生长因子 β（TGFβ）、细胞增殖核抗原（PCNA）等。四君子汤能显著增强腹泻小鼠肠道黏膜修复因子 *PCNA*、*EGFR*、*TGFβ*1 的表达，调控黏膜修复因子的表达，加速小鼠肠道黏膜损伤的修复[43]。植物提取物可能通过影响肠道上皮细胞的增殖分化和肠道上皮相关基因的

表达来影响肠道黏膜形态。在仔猪上的研究证实，植物精油使空肠和回肠中与细胞增殖有关的细胞周期蛋白D1（cyclin D1）mRNA 的表达量下调，使绒毛高度降低。考虑到植物精油对肠道形态影响的不同报道，可以假设，植物精油可能的一个作用效果是刺激肠组织，使肠道表面损伤，而其他有益肠道健康的影响如减少肠道病原微生物，则可能有利于增大肠道绒毛高度，进而改善其肠道形态。因此，植物精油对肠道形态的影响取决于肠道组织的刺激程度和肠道环境有益影响间的平衡[44]，其具体作用机制还不清楚，今后应加强从分子水平探讨植物提取物对家禽肠道黏膜相关细胞因子方面的研究。

3.3　对肠道菌群的影响

肠道菌群是肠黏膜屏障的重要组成部分，又称为生物学屏障，肠道菌群失调会引起家禽腹泻、免疫力低下，甚至引发全身炎性反应综合征（SIRS）。在肉鸡饲粮中添加 60、120、180 mg/kg 的丝兰属（*Yucca*）植物提取物，结果表明，60 mg/kg 丝兰属植物提取物使肠道中厚壁菌门（Firmicutes）的数量增加，120 和 180 mg/kg 丝兰属植物提取物使肠道中厚壁菌门的数量减少；60 mg/kg 丝兰属植物提取物使肠道中芽孢杆菌门（Bacillus）的数量减少，120 和 180 mg/kg 丝兰属植物提取物使肠道中芽孢杆菌门的数量增加；60 和 180 mg/kg 丝兰属植物提取物使肠道中变形菌门（Proteobacteria）的数量减少，120 mg/kg 丝兰属植物提取物使肠道中变形菌门的数量增加；肠道中拟杆菌属（*Bacteroides*）和真杆菌属（*Eubacterium*）等有害菌的数量随着丝兰属植物提取物添加量的提高而减少，而肠道中螺杆菌属（*Helicobacter*）的数量随丝兰属植物提取物添加量的提高而增加；肠道中瘤胃球菌属（*Ruminococcus*）、柔嫩梭菌（*Clostridium leptum*）、奇异菌属（*Atopobium*）等有益菌的数量随着丝兰属提取物添加量的提高而增加[45]。芦荟（*Aloe secundiflora*）提取物能减少肉鸡因沙门氏菌（*Salmonella*）感染而引起的死亡，提高机体的抗体水平，降低肠道中沙门氏菌的数量[46]。Zhao 等[47]在肉鸡饲粮中添加马齿苋（*Portulaca oleracea*）提取物后发现，42 日龄时，添加 2 g/kg 马齿苋提取物组盲肠中乳酸杆菌（*Lactobacillus*）和双歧杆菌（*Bifidobacterium*）的数量显著高于对照组，而大肠杆菌（*Escherichia coli*）的数量显著低于对照组，对肉鸡肠道 pH 没有显著影响。魏建东[41]研究发现，在肉鸡饲粮中添加植物提取物和恩拉霉素均可以使盲肠总非厌氧菌和大肠杆菌等有害菌的数量减少，乳酸菌(*Lactobacillus*)等有益菌的数量增加，表明植物提取物具有调控鸡肠道微生态的功能，随着肉鸡饲养后期饲粮中植物提取物添加量的增加，回肠 pH 显著降低。此外，在肉仔鸡饲粮中添加植物精油后能改善肠道微生物区系，降低肠道中产气荚膜梭

菌（*Clostridium perfringens*）的数量，促进乳酸菌和双歧杆菌等有益菌的定植[31]。Kavoosi 等[48]研究了印度藏茴香（*Carum copticum*）种子精油（茴香精油）和竹板阿魏（*Ferula assafoetida*）精油（阿魏精油）的抗菌作用，发现茴香精油可极显著地抑制革兰氏阳性菌和革兰氏阴性菌的生长，而阿魏精油只能显著抑制革兰氏阳性菌的生长，同时还发现这 2 种植物精油均具有抗真菌作用。添加 2 g/kg 牛至水提物可以显著降低回肠和盲肠中大肠杆菌的数最，盲肠中肠球菌（*Enterococcus*）、乳酸菌和葡萄球菌（*Staphylococcus*）的数量各组间差异不显著，回肠中乳酸菌的数量没有显著下降[49]。在日本鹌鹑饲粮中添加百里香精油（thyme essential oil）结果表明，百里香精油可以显著增加回肠乳酸杆菌的数量，降低大肠杆菌的数量[50]。然而，在 7～28 日龄的鸡饲粮中添加植物精油对小肠菌群的影响不显著[51]。以上研究表明，不同植物提取物对肠道菌群的调节方式不同，有些可以直接通过不同途径抑杀有害菌，也有促进益生菌生长而间接抑制有害菌繁殖的，植物提取物中的有些成分如寡糖，具有明显益生作用，在体内和体外都表现出促进双歧杆菌、乳酸菌等有益菌生长繁殖的作用[52]，因为双歧杆菌和乳酸菌等厌氧菌能利用寡糖进行合成代谢，而需氧的致病菌却不能够利用寡糖。不同来源的植物提取物在体内对肠道微生态的影响的作用机制不尽相同，多种植物提取物可能表现更强或更广谱的抗菌作用，未来应加大其筛选与有效组合的研究，以期可以全面解释植物提取物对家禽肠道菌群的影响机制。

3.4 对肠道免疫的影响

肠道具有双重功能，一方面作为营养物质消化和吸收的重要器官，另一方面又是维持机体内环境稳定的先天性免疫屏障，是机体最为复杂的免疫系统。当肠道免疫屏障被破坏时，微生物和毒素等便可进入血液循环，从而引起细菌和毒素的移位，易引发肠原性感染，甚至导致全身性炎症反应或器官功能的衰竭。现已证明，植物提取物能与免疫细胞膜上的特异受体结合，介导免疫细胞激活的信号通路，来调控巨噬细胞、T/B 淋巴细胞和树突状细胞等细胞因子的分泌[3,53]，通过增强动物机体的免疫及消除炎症的能力来维护动物肠道健康（图1）。目前已发现维护肠道健康的细胞因子有白细胞介素-6（IL-6）、干扰素-γ（IFN-γ）和TNF-α，它们在机体炎症反应和免疫应答的过程中具有十分重要的作用，在对抗体内各种致病菌方面也起着重要作用[54]。研究表明，野蔷薇（*Zataria multiflora* Boiss）提取物可显著增加机体内*IFN-γ*的表达量，显著降低白细胞介素-4（*IL*- 4 ）的表达量，同时可提高IFN-γ与IL- 4 的比例，即野蔷薇提取物可显著改善辅助性T细胞（Th）

1/Th2平衡，可作为过敏等炎症反应过程的免疫调节剂[55]。七味白术散可提高乳鼠肠道黏膜上皮白细胞介素-2（*IL*-2）、白细胞介素-10（*IL*-10）和*IFN*-γ mRNA的表达量，抑制轮状病毒引起的乳鼠腹泻，其机理可能与调节T细胞亚群有关[56]。Romier-Crouzet等[57]研究了葡萄籽提取物、可可提取物、甘蔗提取物、橡木提取物、山竹提取物和石榴提取物对人肠道细胞炎症介质的影响，结果表明，甘蔗提取物、橡木提取物和石榴提取物能够抑制核转录因子-κB（NF-κB）的活性，石榴提取物能够抑制细胞外调节蛋白激酶（Erk）1/2的激活能力，橡树提取物和石榴提取物降低一氧化氮（NO）和白细胞介素-8（IL-8）的合成，石榴提取物和可可提取物降低了前列腺素E_2(PGE_2)的合成。在小鼠上的试验证明，植物提取物使*NF-κB*1和*NF-κB*2的基因表达量下调，从而使NF-κB1抑制因子的表达量增多，对NF-κB1的结合增多，并将NF-κB1从细胞核排到细胞质中，使一氧化氮合酶（*NOS*）和环氧合酶（*COX*-2）基因的表达量减少，NOS和COX-2分别诱导的炎症因子NO和PGE_2的含量也相应减少，从而可以减轻机体的炎症反应[58]。这种既提高感染动物的免疫力又防止过度敏感导致自身炎症的作用，体现了植物提取物双向调节的优势，但植物提取物对家禽肠道免疫或降低肠道炎症的确切作用机制尚不清楚，需进一步研究。

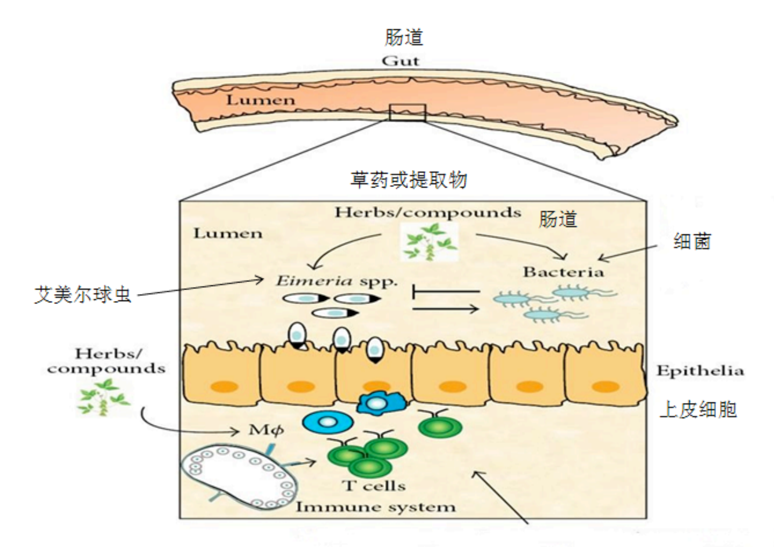


图 1　植物提取物与家禽肠道健康

Fig.1　Plant extracts and poultry gut health[3]

3.5　对肠道有害代谢产物的影响

植物提取物还可以降低消化道及粪便中有害代谢产物来维护肠道健康及改善养殖场环境质量。在肉鸡饲粮中添加 150、250 和 350 mg/kg 的樟科植物提取物，结果表明，试验组肉鸡肠道内容物中尿酸（UA）和尿素氮（UN）的含量低于对照组，各试验组肠道内容物中 UA 的含量分别比对照组降低了 0.25%、23.9%和 41.3%，

减少了氨气（NH_3）的排放[59]。将一串红提取物、桂花提取物、肉桂提取物和丝兰提取物添加到肉鸡饲粮中，结果表明，添加植物提取物后肠道和排泄物中 UA、UN 及氨态氮（ammonia nitrogen，AN）的含量显著下降，使鸡舍空气质量得到有效改善，并提高了肉鸡的生产性能[47]。陈华洁[60]对樟科植物提取物、蒜属植物提取物、丝兰属植物提取物对肉鸡排泄物中氨挥发的影响进行了研究，结果表明，42 日龄时，樟科植物提取物、蒜属植物提取物、丝兰属植物提取物组肠道内容物中 UN 含量分别比对照组降低了 31.08%、28.34%、28.52%；而肠道内容物中 UA 含量分别比对照组降低了 22.48%、22.13%、38.85%。研究表明，在肉鸡饲粮中添加 0.1%的胡芦巴（*Trigonella foenumgraecum*）种子提取物（fenugreek seed extract,FSE）可提高氮（N）和干物质（DM）的消化率；同时，0.1%的 FSE 还可以降低排泄物中 NH_3 的释放量[61]，这与苏俊玲等[33]报道的结果相一致。植物提取物降低肠道有害代谢产物一方面是通过抑制黄嘌呤氧化酶（XO）的活性实现的，并减少 UA 的产生；另一方面，植物提取物在家禽肠道内抑制脲酶、尿酸酶等酶的活性[62]，使家禽肠道中 UA、UN 及 AN 的含量降低，被排泄到消化道外的植物提取物仍具有抑制脲酶、尿酸酶等酶的作用，使排泄物中 UA、UN 及 AN 的含量也降低。此外，某些植物提取物可以刺激消化道中蛋白酶的分泌，提高了蛋白质的利用效率，从而减少了氮的排放，提高了环境质量。

4 小　结

维护家禽肠道健康是后抗生素时代家禽养殖的重要使命，植物提取物具有营养与保健的双重功效，是抗生素的理想替代者。目前，研究人员在植物提取物对家禽消化生理、肠道发育、肠道菌群及肠道有害代谢产物影响等方面做了很多工作，但不同来源、不同提取方法、不同植物生长阶段提取物对家禽肠道健康调控的影响机制仍不清楚，未来应加大其筛选与有效组合的研究，从细胞和分子水平阐明其在体内作用和影响肠道黏膜相关基因表达的分子通道，为植物提取物在家禽生产中的应用提供理论基础。

参考文献：

[1] HASHEMI S R,DAVOODI H.Herbal plants and their derivatives as growth and health promoters in animal nutrition[J].Veterinary Research Communications,2011,35(3):169–180.

[2] MONTAGNE L,PLUSKE J R,HAMPSON D J.A review of interactions between dietary fibre and the intestinal mucosa,and their consequences on digestive health in young non-ruminant animals[J].Animal Feed Science and Technology,2003,108(1/2/3/4):95–117.

[3] MUTHAMILSELVAN T,KUO T F,WU Y C,et al.Herbal remedies for coccidiosis control:a review of

plants,compounds,and anticoccidial actions[J].Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine,2016,2016:1–19.

[4] 金立志.植物提取物添加剂在动物营养中的应用及其机制的研究进展[J].动物营养学报,2010,22(5):1154–1164.

[5] KIM H,LEE B,YUN K W.Comparison of chemical composition and antimicrobial activity of essential oils from three *Pinus* species[J].Industrial Crops and Products,2013,44:323–329.

[6] DIAZ-SANCHEZ S,D'SOUZA D,BISWAS D,et al.Botanical alternatives to antibiotics for use in organic poultry production[J].Poultry Science,2015,94(6):1419–1430.

[7] WINDISCH W,SCHEDLE K,PLITZNER C,et al.Use of phytogenic products as feed additives for swine and poultry[J].Journal of Animal Science,2008,86(Suppl.14):E140–E148.

[8] 毛红霞,武书庚,张海军,等.植物提取物在动物生产中的应用进展[J].中国畜牧兽医,2010,37(7):24–29.

[9] ALLOUI M N, ALLOUI N,AGABOU A.Application of herbs and phytogenic feed additives in poultry production[J].Global Journal Animal Science Research,2014,2(3):234–243.

[10] 刘旺景,敖长金,萨茹丽,等.植物提取物抑菌活性及作用机理[J].动物营养学报,2016,28(8):2344–2452.

[11] GOPI M,KARTHIK K,MANJUNATHACHAR H V,et al.Essential oils as a feed additive in poultry nutrition[J].Advances in Animal and Veterinary Sciences,2014,2(1):1–7.

[12] ROSELLI M,BRITTI M S,LE HUËROU-LURON I,et al.Effect of different plant extracts and natural substances (PENS) against membrane damage induced by enterotoxigenic *Escherichia coli* K88 in pig intestinal cells[J].Toxicology *in Vitro*,2007,21(2):224–229.

[13] KNOBLOCH K,PAULI A,IBER L B,et al.Antibacterial and antifungal properties of essential oil components[J].Journal of Essential Oil Research,1989,1(3):119–128.

[14] SIKKEMA J,DE BONT J A M,POOLMAN B.Interactions of cyclic hydrocarbons with biological membranes[J].Journal of Biological Chemistry,1994,269(11):8022–8028.

[15] HELANDER I M,ALAKOMI H L,LATVA-KALA K,et al.Characterization of the action of selected essential oil components on Gram-negative bacteria[J].Journal of Agricultural and Food Chemistry,1998,46(9):3590–3595.

[16] COX S D,MANN C M,MARKHAM J L,et al.The mode of antimicrobial action of essential oil of *Melaleuca alternifolia* (tea tree oil)[J].Journal of Applied Microbiology,2000,88(1):170–175.

[17] ULTEE A,BENNIK M H J,MOEZELAAR R.The phenolic hydroxyl group of carvacrolis essential for action against the food-borne pathogen *Bacillus cereus*[J].Applied and Environmental Microbiology,2000,68(4):1561–1568.

[18] DENYER S P,HUGO W B.Mechanisms of antibacterial action-A summary[C]//DENYER S P,HUGO W B.Mechanisms of action of chemical biocides.Oxford:Blackwell,1991:331–334.

[19] LAMBERT R J W,PEARSON J.Susceptibility testing:accurate and reproducible minimum inhibitory concentration (MIC) and non-inhibitory concentration (NIC) values[J].Journal of Applied Microbiology,2000,88(5):784–790.

[20] FARAG R S,DAW Z Y,HEWEDI F M,et al.Antimicrobial activity of some Egyptian spice essential oils[J].Journal of Food Protection,1989,52(9):665–667.

[21] TEETHAISONG Y,AUTARKOOL N,SIRICHAIWETCHAKOON K,et al.Synergistic activity and mechanism of action of *Stephania suberosa* Forman extract and ampicillin combination against ampicillin-resistant *Staphylococcus aureus*[J].Journal of Biomedical Science,2014,21(1):90.

[22] JUVEN B J,KANNER J,SCHVED F,et al.Factors that interact with the antibacterial action of thyme essential oil and its active constituents[J].Journal of Applied Microbiology,1994,76(6):626–631.

[23] ULTEE A,KETS E P W,SMID E J.Mechanisms of action of carvacrol on the food-borne pathogen *Bacillus cereus*[J].Applied and Environmental Microbiology,1999,65(10):4606–4610.

[24] ULTEE A,SMID E J.Influence of carvacrol on growth and toxin production by *Bacillus cereus*[J].International Journal of Food Microbiology,2001,64(3):373–378.

[25] BURT S.Essential oils:their antibacterial properties and potential applications in foods—a review[J].International Journal of Food Microbiology,2004,94(3):223–253.

[26] MELLOR S.Nutraceuticals-alternatives to antibiotics[J].World Poultry,2000,16(2):30–33.

[27] JAMROZ D,WILICZKIEWICZ A,WERTELECKI T,et al.Use of active substances of plant origin in chicken diets based on maize and locally grown cereals[J].British Poultry Science,2005,46(4):485–493.

[28] JANG I S,KO Y H,KANG S Y,et al.Effect of a commercial essential oil on growth performance,digestive enzyme activity and intestinal microflora population in broiler chickens[J].Animal Feed Science and Technology,2007,134(3/4):304–315.

[29] PLATEL K,SRINIVASAN K.Influence of dietary spices and their active principles on pancreatic digestive enzymes in albino rats[J].Food,2000,44(1):42–46.

[30] SAMBAIAH K,SRINIVASAN K.Secretion and composition of bile in rats fed diets containing spices[J].Journal Food Science and Technology,1991,28(1):35–38.

[31] WILLIAM P,LOSA R.The use of essential oils and their compounds in poultry nutrition[J].World Poultry,2001,17(4):14–15.

[32] 张美英,王志祥.山楂提取物对肉仔鸡生产性能、养分消化率及消化酶酶活的影响[J].饲料工

业,2009,30(14):7–11.
[33] 苏俊玲,史彬林,岳远西,等.丝兰提取物对肉仔鸡消化代谢功能的影响[J].动物营养学报,2016,28(10):3284–3291.
[34] KHALAJI S,ZAGHARI M,HATAMI K H,et al.Black cumin seeds,*Artemisia* leaves (*Artemisia sieberi*),and *Camellia* L.plant extract as phytogenic products in broiler diets and their effects on performance,blood constituents,immunity,and cecal microbial population[J].Poultry Science,2011,90(11):2500–2510.
[35] LEE K W,EVERTS H,KAPPERT H J,et al.Effects of dietary essential oil components on growth performance,digestive enzymes and lipid metabolism in female broiler chickens[J].British Poultry Science,2003,44(3):450–457.
[36] RAJANI J,DASTAR B,SAMADI F,et al.Effect of extracted galactoglucomannan oligosaccharides from Pine wood (*Pinus brutia*) on *Salmonella typhimurium* colonisation,growth performance and intestinal morphology in broiler chicks[J].British Poultry Science,2016,57(5):682–692.
[37] JAMROZ D,WERTELECKI T,HOUSZKA M,et al.Influence of diet type on the inclusion of plant origin active substances on morphological and histochemical characteristics of the stomach and jejunum walls in chicken[J].Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition,2006,90(5/6):255–268.
[38] 王勉超.丝兰属植物提取物对肉鸡肠黏膜结构和生长性能的影响[D].硕士学位论文.北京:中国农业大学,2007.
[39] 刘靖.博落回生物碱对黄羽肉鸡生长的影响[D].硕士学位论文.长沙:湖南农业大学,2010.
[40] 李艳芬.植物提取物在肉鸡和蛋鸡生产中的应用性研究[D].硕士学位论文.泰安:山东农业大学,2015.
[41] 魏建东.天然植物提取物对肉鸡生产性能、代谢性能和肠道健康影响的研究[D].硕士学位论文.泰安:山东农业大学,2012.
[42] 唐静,朱勇文,侯水生,等.丝兰属麟凤兰和皂皮树提取物对北京鸭生产性能、小肠绒毛形态的影响[J].中国畜牧杂志,2012,48(7):51–54.
[43] 曹玲芝.四君子汤对小鼠大肠杆菌性腹泻防治机制的研究.硕士学位论文[D].硕士学位论文.保定:河北农业大学,2009.
[44] WINDISCH W,ROHRER E,SCHEDLE K.Phytogenic feed additives to young piglets and poultry:mechanisms and application[M]//STEINER T.Phytogenics in animal nutrition:natural concepts to optimize gut health and performance.Nottingham:Nottingham University Press,2009:19–38.
[45] 贾淑庚.丝兰属提取物对蛋鸡生产性能、血液生化指标及肠道菌群的影响[D].硕士学位论文.保定:河北农业大学,2015.
[46] WAIHENYA R K,MTAMHO M M A,NKWENGULILA G,et al.Efficacy of crude extract of *Aloe secundiflora*

against *Salmonella gallinarum* in experimentally infected free-range chickens in Tanzania[J].Journal of Ethnopharmacology,2002,79(3):317–323.

[47] ZHAO X H,HE X,YANG X F,et al.Effect of *Portulaca oleracea* extracts on growth performance and microbial populations in ceca of broilers[J].Poultry Science,2013,92(5):1343–1347.

[48] KAVOOSI G,TAFSIRY A,EBDAM A A,et al.Evaluation of antioxidant and antimicrobial activities of essential oils from *Carum copticum* seed and *Ferula assafoetida* latex[J].Journal of Food Science,2013,78(2):T356–T361.

[49] SCOCCO P,FORTE C,FRANCIOSINI M P,et al.Gut complex carbohydrates and intestinal microflora in broiler chickens fed with oregano (*Origanum vulgare* L.) aqueous extract and vitamin E[J].Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition,2016,doi:10.1111/jpn.12588.

[50] KHAKSAR V,VAN KRIMPEN M,HASHEMIPOUR H,et al.Effects of thyme essential oil on performance,some blood parameters and iieal microflora of Japanese quail[J].The Journal of Poultry Science,2012,49(2):106–110.

[51] CROSS D E,MCDEVITT R M,HILLMAN K,et al.The effect of herbs and their associated essential oils on performance,dietary digestibility and gut microflora in chickens from 7 to 28 days of age[J].British Poultry Science,2007,48(4):496–506.

[52] VULEVIC J,RSTALL R A,GIBSON G R.Developing a quantitative approach for determining the *in vitro* prebiotic potential of dietary oligosaccharides[J].FEMS Microbiology Letters,2004,236(1):153–159.

[53] 甘利平,杨维仁,张崇玉,等.植物提取物的生物学功能及其作用机理[J].动物营养学报,2015,27(9):2667–2675.

[54] 印遇龙,李铁军,吴信,等.仔猪肠道健康的生物学机制及调控技术研究与应用[J].动物营养学报,2011,22(1):10–17.

[55] BOSKABADY M H,MEHRJARDI S S,REZAEE A,et al.The impact of *Zataria multiflora Boiss* extract on *in vitro* and *in vivo* Th_1/Th_2 cytokine (IFN-γ/IL4) balance[J].Journal of Ethnopharmacology,2013,150(3):1024–1031.

[56] WU C R,JIANG X,HE S T,et al.Effects of QWBZP on T-cell subsets and their cytokines in intestinal mucosa of HRV infection suckling mice[J].Journal of Ethnopharmacology,2010,131(1):130–134.

[57] ROMIER-CROUZET B,VAN DE WALLE J,DURING A,et al.Inhibition of inflammatory mediators by polyphenolic plant extracts in human intestinal Caco-2 cells[J].Food and Chemical Toxicology,2009,47(6):1221–1230.

[58] LEIRO J,ÁLVAREZ E,ARRANZ J A,et al.Effects of *cis*-resveratrol on inflammatory murine

macrophages:antioxidant activity and down-regulation of inflammatory genes[J].Journal of Leukocyte Biology,2004,75(6):1156–1165.

[59] 许金新.饲料源樟科植物提取物对肉鸡氮代谢及排泄物氨逸失的影响[D].硕士学位论文.杭州:浙江大学,2004.

[60] 陈华洁.樟科、蒜属、丝兰属植物提取物对肉鸡排泄物中氨挥发的影响及其机理探讨[D].硕士学位论文.杭州:浙江大学,2006.

[61] PARK J H,KIM I H.Interactive effects of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) seed extract supplementation and dietary metabolisable energy levels on the growth performance,total tract digestibility,blood profiles,and excreta gas emission in broiler chickens[J].Animal Production Science,2015,56(10):1677–1682.

[62] NAZEER M S,PASHA T N,ABBAS S et al.Effect of yucca saponin on urease activity and development of ascites in broiler chicken[J].International Journal of Poultry Science,2002,1(6):174–178.

Regulation of Poultry Gut Health and Its Mechanisms by Plant Extracts

GUO Aiwei[1] XIONG Chunmei[1] ZHOU Jielong[1] LI Qingqing[1] CHEN Yuqin[2] YANG Yajin ZHENG Chen[3*]

(1. *Faculty of Life Science*, *Southwest Forestry University, Kunming* 650224*, China*; 2. *Dehong Tropical Agricultural Science Research Institute of Yunnan Province*, *Dehong* 679600, *China*; 3. *College of Animal Science and Technology*, *Gansu Agricultural University*, *Lanzhou* 730070, *China*)

Abstract: Plant extracts contain flavonoids, essential oils, alkaloids, tea polyphenols, saponins, polysaccharides and other physiological active ingredients, and their have many functions, such as antibacterial ability, exhibit antioxidant, immunomodulator, antiparasitic, digestion stimulating, and hypolipidemic activities in protecting gut health. They have been successfully used as a dietary antibiotic replacer just because without residues and drug tolerance. This paper summarized the antibacterial activity ingredients and its potential mechanisms by checking much more domestic and foreign achievements, which focused chiefly on the effects of plant extracts on poultry digestive physiology, intestinal mucosal morphology, intestinal microflora, intestinal immune, intestinal harmful metabolic products and its mechanisms to provide the references for further research and application of the plant extracts as additives in poultry production.

Key words: plant extracts; poultry; gut health; mechanisms

*Corresponding author, associate professor, E-mail: zhengc@gsau.edu.cn

（责任编辑 菅景颖）